

普通高等教育物联网工程专业规划教材

无线网络技术

——原理、安全及实践

◎ 张路桥 主编



普通高等教育物联网工程专业规划教材

无线网络技术

——原理、安全及实践

主编 张路桥

参编 王 娟 石 磊



机械工业出版社

无线网络可作为有线网络的补充,在某些应用场所其甚至可以完全替代有线网络。本书作为无线网络领域的入门教材,涵盖了无线广域网、无线城域网、无线局域网以及无线个域网等内容,并从原理、编程、安全等方面介绍了各类典型无线网络技术。全书共10章,第1、2章介绍无线网络基础知识;第3~5章介绍无线局域网技术,特别是WiFi网络;第6~9章介绍无线个域网技术,特别是Bluetooth网络和ZigBee网络;第10章简要介绍无线城域网和无线广域网技术。每章末均有习题,以便读者自测。

本书可作为高等院校计算机、物联网工程及相关专业的本科教材,也可供对无线网络感兴趣的读者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

无线网络技术:原理、安全及实践/张路桥主编. —北京:机械工业出版社, 2018. 12

普通高等教育物联网工程专业规划教材

ISBN 978-7-111-61456-2

I. ①无… II. ①张… III. ①无线网-高等学校-教材 IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第267344号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:路乙达 责任编辑:路乙达 王小东

责任校对:李 杉 封面设计:张 静

责任印制:郜 敏

涿州市京南印刷厂印刷

2019年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.25印张·373千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61456-2

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

从技术发展角度来看,随着计算机网络技术和无线通信技术的不断发展与成熟,无线网络技术已经成为计算机网络的延伸和重要分支。从应用情况来看,在日常生活和工作中,智能手机、平板电脑、笔记本式计算机等各类智能设备,甚至家用电器、家用轿车都能逐步通过无线的方式完成网络接入、数据传输。因此,有必要在计算机相关专业,通过单独的课程讲授无线网络的发展历史、无线网络和传统有线网络的区别、无线网络实现无线数据传输的原理、典型的无线网络技术等相关知识。

作者在几年的无线网络教学过程中发现,如果仅仅对无线网络的概念泛泛而谈,可能深度会有所欠缺,但如果对各类无线网络的协议、编码原理等内容进行深入讲解往往又非常枯燥。基于上述原因,本书一方面尽可能地减少对协议栈细节等枯燥内容、网络仿真等对理论、编码能力要求较高内容的介绍,另一方面尽可能从原理、编程、安全等多角度来介绍各类常见、典型的无线网络技术,并提供了大量的实验以便读者能够更加深入地理解相关概念、原理。

全书共10章,第1、2章介绍无线网络基础知识;第3~5章介绍无线局域网技术,特别是WiFi网络;第6~9章介绍无线个域网技术,特别是Bluetooth网络和ZigBee网络;第10章简要介绍无线城域网和无线广域网技术。除第1、2章外,后续部分内容相对独立,并且章节间内容也相对独立,读者可根据兴趣和时间选择阅读。当然,任何一种无线网络技术都涉及大量技术细节,单独用一本书进行介绍也不为过。所以,在阅读过程中,读者若对某种无线网络技术感兴趣,可继续深入查阅相关文献。

张路桥编写了第1章、第3~5章和第10章;王娟编写了第2章、第6章和第7章;石磊编写了第8章和第9章。

研究生沈梦婷和罗雪在文字校对过程中付出了辛勤的劳动,在此表示感谢。本书的出版得到了成都信息工程大学教材建设项目的资助,在此表示感谢。

由于编者学识有限,书中难免存在疏漏和错误,望读者不吝赐教。我们的电子邮箱分别是 zhanglq@cuit.edu.cn、wangjuan@cuit.edu.cn 和 sl@cuit.edu.cn。

编 者

目 录

前 言	
第1章 无线网络简介	1
1.1 计算机网络的发展历史	1
1.1.1 计算机网络诞生之前	1
1.1.2 分时系统	2
1.1.3 ARPANET	2
1.1.4 Internet	3
1.2 无线通信技术的发展历史	4
1.2.1 无线电报	4
1.2.2 各类无线通信技术	4
1.2.3 无线计算机网络	5
1.3 无线网络技术分类及应用场景	5
1.3.1 覆盖范围	5
1.3.2 通信频率	6
1.3.3 组网对象	6
1.3.4 是否需要基础设施支持	7
1.3.5 应用场景	7
1.4 无线网络领域的标准化组织	7
1.4.1 国际电信联盟	7
1.4.2 国际标准化组织	8
1.4.3 国际电工委员会	8
1.4.4 电气和电子工程师协会	9
1.5 本章小结	9
习题	10
第2章 无线通信原理	11
2.1 无线传输	11
2.1.1 无线传输媒体	11
2.1.2 无线传输性能	12
2.2 无线频谱	15
2.2.1 无线频谱划分	15
2.2.2 无线通信的特点	17
2.2.3 无线电通信	17
2.2.4 微波通信	18
2.2.5 红外线通信	19
2.2.6 光波通信	20
2.3 天线	20
2.3.1 天线的分类	20
2.3.2 天线的主要指标	22
2.3.3 天线分集技术	23
2.3.4 赋形波束技术	24
2.4 信号处理	24
2.4.1 信号编码	24
2.4.2 调制与解调	27
2.4.3 扩频技术	29
2.4.4 复用和多址	32
2.5 本章小结	35
习题	35
第3章 无线局域网技术	36
3.1 无线局域网技术简介	36
3.1.1 无线局域网的由来	36
3.1.2 典型的无线局域网技术	36
3.2 WiFi 简介	38
3.2.1 WLAN、WiFi 与 802.11	38
3.2.2 WiFi 技术发展历程	38
3.2.3 WiFi 的局限性	40
3.3 WiFi 网络组成、拓扑与服务	42
3.3.1 WiFi 网络组成	42
3.3.2 WiFi 网络拓扑结构	42
3.3.3 WiFi 网络服务	44
3.4 802.11 协议栈	45
3.4.1 802.11 网络模型与 OSI 模型对比	45
3.4.2 802.11 的数据链路层	45
3.4.3 802.11 的物理层	48
3.4.4 802.11 抓包分析	48
3.5 WiFi 设备	53
3.5.1 消费级无线路由器	53
3.5.2 企业级无线路由器	58
3.6 本章小结	59
习题	59
第4章 WiFi 网络安全	60
4.1 WEP 与 WPA/WPA2	60
4.1.1 WEP	60
4.1.2 WPA	62

4.1.3 WPA2	64	7.2 蓝牙安全体系结构和安全机制	130
4.2 WiFi 网络连接密码破解	66	7.2.1 蓝牙安全体系结构	130
4.3 QSS 使用、原理及其破解	70	7.2.2 链路层安全机制	131
4.3.1 QSS 简介及其使用	70	7.3 蓝牙系统的安全威胁与防护建议	136
4.3.2 QSS 原理	73	7.3.1 蓝牙面临的威胁	136
4.3.3 QSS PIN 码破解	74	7.3.2 蓝牙使用安全防护建议	138
4.4 加固 WiFi 网络	76	7.4 两个蓝牙安全实验	139
4.5 本章小结	80	7.4.1 蓝牙电子干扰	139
习题	80	7.4.2 蓝牙 DoS 攻击	139
第5章 WiFi 网络编程	81	7.5 本章小结	141
5.1 TCP、UDP 编程	81	习题	142
5.1.1 环境准备	81	第8章 ZigBee 原理与编程	143
5.1.2 TCP 编程	81	8.1 ZigBee 协议简介	143
5.1.3 UDP 编程	87	8.1.1 ZigBee 的起源与发展	143
5.2 网络抓包	91	8.1.2 无线传感器网络与 ZigBee 的 关系	144
5.2.1 环境准备	91	8.1.3 ZigBee 的技术特点	145
5.2.2 新建 winpcap 抓包项目	91	8.1.4 ZigBee 协议层次结构	145
5.2.3 代码编制	97	8.1.5 ZigBee 工作频率	147
5.3 本章小结	99	8.1.6 ZigBee 网络结构	148
习题	99	8.1.7 ZigBee 常用协议栈及特点	149
第6章 蓝牙技术原理及应用	100	8.2 CC2530 硬件资源分析	150
6.1 IEEE 802.15 家族	100	8.2.1 概述	150
6.2 蓝牙技术起源和发展	101	8.2.2 CC2530 硬件模块介绍	150
6.2.1 蓝牙起源与蓝牙技术联盟	101	8.3 ZStack 协议栈分析	152
6.2.2 蓝牙版本演进	102	8.3.1 ZStack 协议栈概述	152
6.3 蓝牙技术	104	8.3.2 ZStack 软件体系结构	153
6.3.1 蓝牙技术概述	104	8.3.3 ZStack 协议栈各层分析	155
6.3.2 蓝牙技术特点	104	8.3.4 ZStack OSAL 原理	165
6.3.3 蓝牙系统组成	106	8.3.5 ZStack 常用 API 分析	168
6.3.4 蓝牙技术细节	107	8.3.6 ZStack 应用开发层 (App 层) ...	171
6.4 蓝牙的应用	112	8.4 ZigBee 组网与传输相关实验	174
6.4.1 蓝牙应用开发基础	112	8.4.1 IAR 开发简介	174
6.4.2 应用领域	113	8.4.2 ZStack OS 实验	180
6.5 两个蓝牙实验	116	8.4.3 ZigBee 组网实验	186
6.5.1 蓝牙设备配对与数据传输	117	8.4.4 ZigBee 数据采集与传输实验	189
6.5.2 蓝牙数据包分析	119	8.5 本章小结	193
6.6 本章小结	126	习题	193
习题	126	第9章 ZigBee 安全与编程	194
第7章 蓝牙系统安全	128	9.1 ZigBee 安全机制	194
7.1 蓝牙系统安全分级	128	9.1.1 安全思考	194
7.1.1 四级安全模式	128	9.1.2 ZigBee 安全体系结构	195
7.1.2 设备与服务安全级别	129		

9.1.3	MAC 层安全	199	10.1.2	802.16 的网络组成	219
9.1.4	网络层安全	202	10.1.3	802.16 的网络拓扑结构	219
9.1.5	应用层安全	205	10.1.4	802.16 的 QoS 机制	219
9.2	ZigBee 安全分析与加固	207	10.1.5	WiMAX 推广应用情况	221
9.2.1	安全分析	207	10.1.6	WiMAX 与 WiFi、3G、4G 移动通信 技术对比	222
9.2.2	ZigBee 数据分析方法	208	10.2	无线广域网	223
9.2.3	安全建议	210	10.2.1	移动通信网络	223
9.3	ZigBee 安全实验	210	10.2.2	卫星网络	226
9.3.1	ZigBee 抓包与分析实验	210	10.3	本章小结	232
9.3.2	ZigBee 加密数据传输实验	214	习题		232
9.4	本章小结	216	附录	习题参考答案	233
习题		216	参考文献		236
第 10 章	无线城域网和无线广域网	217			
10.1	无线城域网	217			
10.1.1	802.16 协议栈	218			

第 1 章 无线网络简介

本章通过介绍计算机网络和无线通信技术的发展历史使读者了解无线网络技术的由来，而后介绍无线网络的分类方法及典型应用场景，最后介绍无线网络领域中相关的各类标准化组织。

1.1 计算机网络的发展历史

无线网络，顾名思义，是通过无线方式进行连接的网络。但在实现无线连接之前，就已经出现了有线网络，更准确地讲，是通过有线方式连接的计算机网络。因此，有必要简单回顾一下计算机网络的发展历史。

1.1.1 计算机网络诞生之前

20 世纪 40 年代，世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 诞生。早期的计算机往往体积庞大，如图 1-1 所示，为了保证计算机散热，其往往被放置在带有空调的玻璃房内。

当时既没有鼠标、键盘，也没有显示器，人机交互多依靠一种叫作穿孔纸带（或卡片）的装置，如图 1-2 所示。人们将程序、数据转换为二进制数据后，用有孔表示“1”，无孔表示“0”，并经过光电扫描后输入计算机。不难想象，穿孔纸带通过肉眼是非常难以识别的，如图 1-3 所示。雪上加霜的是，早期计算机不支持远程通信，所有输入输出操作必须在本地完成。



图 1-1 早期的电子计算机

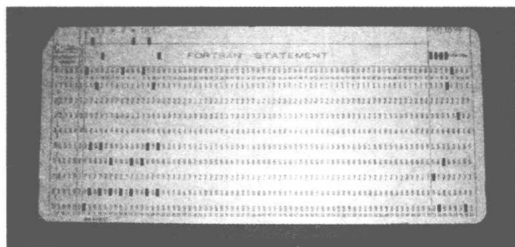


图 1-2 穿孔卡片

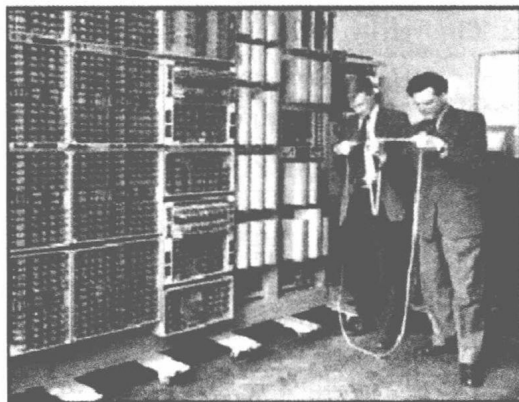


图 1-3 穿孔纸带识别

1.1.2 分时系统

为了方便人机交互，1954 年人们发明了一种被称为收发器的终端，如图 1-4 所示，其能够将本地穿孔纸带的内容发送到远程计算机上，并接收返回结果。这样一来，虽然免去了往返数据中心的路途奔波，但是人类终究不是机器，通过人工方式识别穿孔纸带始终是一件非常困难的任务。于是人们又发明了电传打字机，如图 1-4 所示，其除具备远程收发功能外，还能够让人们以自然语言的形式进行消息输入，再自动地将录入信息转换为计算机能够理解的“0”和“1”。

上述形态，即无处理能力的收发终端与中心计算机之间通过通信链路进行连接，中心计算机以分时方式处理不同用户所提交的操作请求就被称为分时系统，如图 1-5 所示。分时系统还不能被称为真正意义上的计算机网络，因为参与组网的并非是计算机，而是不具备处理能力的终端，并且也没有专门用于网络数据包处理和转发的设备。



图 1-4 收发器与电传打字机

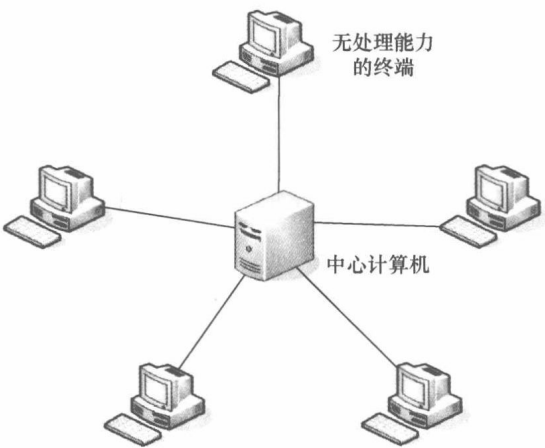


图 1-5 分时系统

1.1.3 ARPANET

1969 年，美国国防部高级技术研究局（Advanced Research Project Agency, ARPA）联合加州大学洛杉矶分校（University of California Los Angeles, UCLA）、加州大学圣芭芭拉分校（University of California Saint Barbara, UCSB）、斯坦福研究院（Stanford Research Institution, SRI）与犹他大学（The University of Utah, U of U）组建了一套被称为 ARPANET 的实验网络，该实验网络共有 4 个节点，节点间连接如图 1-6 所示。

在 ARPANET 中，首次出现了专门用于对计算机之间所传递消息进行处理的专用计算机——接口信息处理器（Interface Message



图 1-6 ARPANET 的节点间连接

Processor, IMP), 如图 1-7 所示。正是由于 IMP 的出现, ARPANET 也被视为现代计算机网络诞生的标志。也可以说, IMP 是路由器、交换机等现代网络设备的雏形。

20 世纪 70 年代, 受 ARPANET 启发, 各大学、公司及研究部门分别自行研发了多种不同体系结构的计算机网络, 如 IBM 公司研发的系统网络体系结构 (Systems Network Architecture, SNA), DEC 公司开发的数字网络结构 (Digital Network Architecture, DNA)。这些网络之间由于缺乏统一的通信协议, 相互之间并不能进行互联和数据通信。

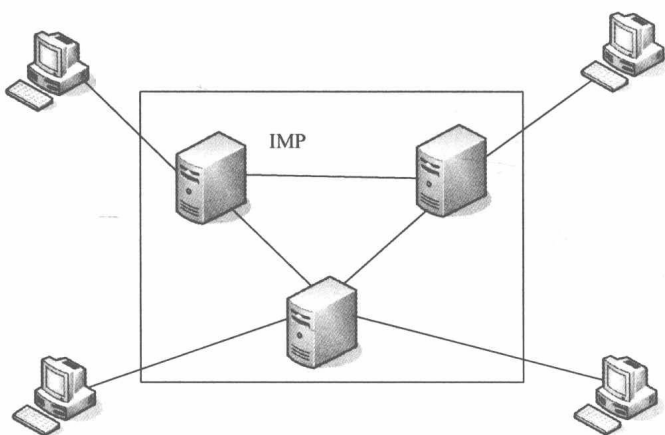


图 1-7 IMP

1.1.4 Internet

1983 年, 随着传输控制/网际 (Transfer Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP) 协议的标准化, 不同网络之间互联互通问题迎刃而解。不论局域网内部采用何种网络协议, 只要大家遵循 TCP/IP 协议, 一个个原本孤立的网络就能够进行信息交互, 如图 1-8 所示。TCP/IP 的标准化也标志着 Internet 正式诞生。

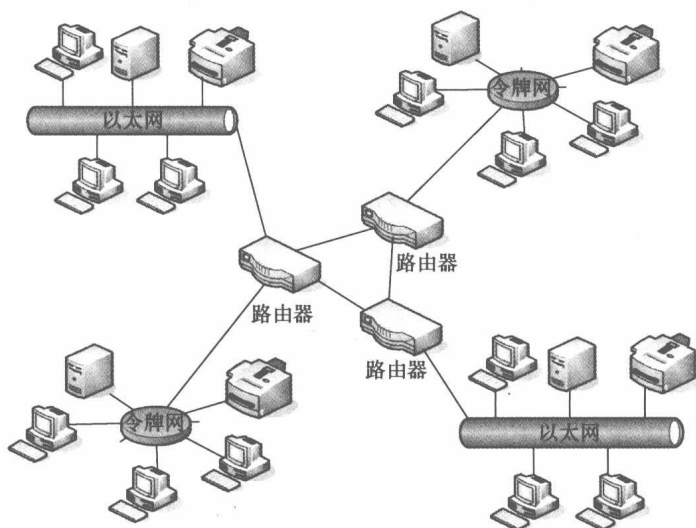


图 1-8 Internet

自 Internet 诞生以来, 随着人们对网络传输速度以及接入便利性越来越高的要求, 人们不断对计算机网络进行改进。例如, 通过光纤技术, 如图 1-9 所示, 极大地提高了网络传输速度; 再比如, 通过无线网络, 大大地提高了计算机、智能手机等终端设备接入网络的便利性。

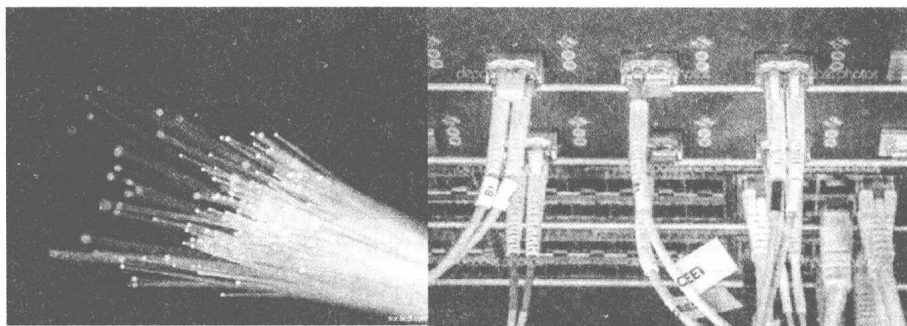


图 1-9 网络光纤

1.2 无线通信技术的发展历史

网络技术是如何同无线通信技术走向融合，从而产生无线网络技术的，无线通信技术本身又是如何产生和发展的。本节将对无线通信技术的发展历史进行简要回顾。

1.2.1 无线电报

无线通信技术的诞生可追溯到 1895 年，意大利人马可尼（图 1-10）首次实现了距离 3km 的无线信息传送。随后，1901 年他又在英国和加拿大之间实现了横跨大西洋，近 3000km 的长距离无线信息传输。由于其在无线电、电视、移动电话等众多领域的卓越贡献，马可尼在 1909 年被授予诺贝尔物理学奖。



图 1-10 马可尼

1.2.2 各类无线通信技术

随后，由于两次世界大战以及随后的冷战所带来的军事需求，无线通信技术得到了极大的推动和发展。其中一些标志性的事件包括：1945 年，英国人克拉克提出静止卫星通信的设想；1947 年，美国贝尔实验室提出了蜂窝通信的概念，即将移动电话服务区划分成若干小区，每个小区设立一个基站，构成蜂窝移动通信系统；1954 年，美国海军利用月球表面对无线电波的反射进行了地球上两地电话的传输试验，并于 1956 年在华盛顿和夏威夷之间建立了通信业务；1960 年，人类第一颗人造地球通信卫星——美国宇航局兰利研究中心工程师制造的“回声 1 号”（如图 1-11 所示）成功发射。此后，科学家们通过卫星实现了第一次语音直播通信、第一次图像信息的传递和第一通横跨大陆的电话等。

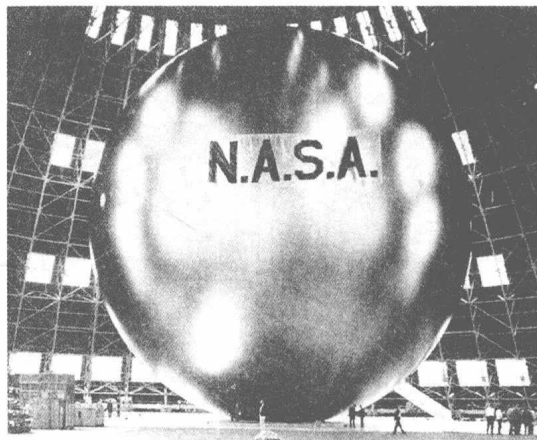


图 1-11 “回声 1 号”地球通信卫星

1.2.3 无线计算机网络

虽然无线通信技术在20世纪得到了长足发展,但是无线通信技术与计算机网络技术真正走向融合是1971年。为了解决夏威夷群岛各岛屿之间的通信问题,夏威夷大学发起建设了ALOHA系统,其包含横跨4座岛屿的7台计算机。ALOHA系统实现了一点到多点的无线数据通信,使分散在各岛上多个用户能够通过无线电信道来使用中心计算机。

在1971年至20世纪末的20多年时间里,研究人员持续进行无线网络的相关技术研究。例如,1979年,IBM设在瑞士的Rueschlikon实验室,其研究人员Gfeller首先提出了无线局域网的概念,并采用红外线作为传输载体,用以解决生产车间里布线困难,大型机器运行时产生的严重电磁干扰问题,但由于该网络传输速率过低(小于1Mbit/s)而没有投入使用。无线网络真正被大众所熟知是在20世纪末,大量符合IEEE 802.11b标准的网络设备、终端设备的普及。

除与计算机网络技术融合并衍生和发展出各类无线网络技术之外,由于人们对于移动过程中持续通信能力的渴求,无线通信技术的发展还催生了以移动通信网络为代表的无线移动通信技术。从20世纪80年代,美国贝尔实验室提出蜂窝式模拟移动通信系统(即第一代移动通信系统)开始,移动通信系统已经发展了4代,也就是大家常说的1G、2G、3G和4G。目前,相关厂商已经研发成功了5G移动通信技术,并正在进行大规模商用的准备。

另外值得一提的是,现代移动通信网络的核心网络也在使用源自计算机网络的IP技术。不难看出,随着技术的不断融合与发展,无线网络技术和移动通信技术的边界正变得越来越模糊。

1.3 无线网络技术分类及应用场景

各类无线网络技术可以按照其覆盖范围、通信频率、参与组网的对象、组网过程是否需要基础设施支持等标准进行分类。下面将对不同分类标准进行逐一介绍。

1.3.1 覆盖范围

无线网络按照其覆盖范围可以分为无线个域网(Wireless Personal Area Network, WPAN)、无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)、无线城域网(Wireless Metropolitan Area Network, WMAN)、无线广域网(Wireless Wide Area Network, WWAN)。无线个域网中比较常见的技术包括蓝牙(Bluetooth)、ZigBee、无线超宽带(Ultra Width Band, UWB)等。无线局域网中最具代表性的技术就是日常生活中无处不在的WiFi(Wireless Fidelity)。无线城域网的代表性技术有全球微波互联接入(Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX)等。无线广域网技术包括蜂窝网络、卫星网络等。相关技术将在后续章节进行详细介绍。

这里所指的覆盖范围,更准确地说,应该是单个基站的覆盖范围,而单蜂窝的覆盖范围大小就成为网络划分的依据。根据单个基站覆盖范围的大小,可以将无线网络结构分为以下几类:

- 1) 大蜂窝(Megacell):以卫星作为基站,单个基站覆盖距离可为上千千米。

- 2) 宏蜂窝 (Macrocell): 基站放置在高大建筑上, 单个基站覆盖距离为 1 ~ 10km。
- 3) 微蜂窝 (Microcell): 基站放置在几米到几十米高度上, 覆盖范围为几百米至 1km。
- 4) 微微蜂窝 (Picocell) /毫微微蜂窝 (Femtocell): 基站往往布置在室内, 用于改善室内移动信号覆盖较弱的问题。爱立信公司推出的室内基站, 其只有手掌大小, 如图 1-12 所示。微微蜂窝也被称为皮蜂窝, 毫微微蜂窝也被称为飞蜂窝。

另外, 不同覆盖范围的无线网络技术, 其网络结构往往是相似的, 即多采用蜂窝结构来完成一定区域的网络覆盖, 这就是上述分类中“蜂窝”二字的来历和含义。

需要特别说明的是, 上述几种结构在同一网络中是可以并存的。例如, 在 4G 网络中, 既可以有放置在高大建筑上的基站, 也可以有巴掌大小、用于改善室内信号质量的微型基站。



图 1-12 爱立信公司的室内基站产品

1.3.2 通信频率

无线网络技术根据其传输速率、最大传输距离、应用场景不同, 多采用不同的频率。一般而言, 传输速率要求越高, 使用频率就越高; 传输距离越长, 使用频率就越低。当然, 亦可以采用多站点中继, 增大发射功率等方式来解决长距离传输中信号衰减的问题。在建筑物、障碍物较多的应用场所, 为提高覆盖范围, 应采用较低的通信频率, 或者增加站点的部署密度, 以提高无线信号成功接收的概率; 反之, 若在较为空旷的野外, 在发射功率等条件不变的情况下, 即便采用较高的通信频率, 也可以取得比较远的传输距离。当然, 频率选择还受到不同国家和地区无线电频率分配、管理机构的约束。

举例来说, WiFi 最为常用的通信频段包括 2.4GHz 和 5GHz 两个频段, 蓝牙多采用 2.4GHz 频段。同为第四代移动通信技术, LTE - FDD (Long Term Evolution - Frequency Division Duplex) 在中国和美国使用的频率就各不相同。甚至在同一国家, 不同的运营商即便采用相同技术, 其使用的频段也不相同。比如, 同样采用 FDD 技术, 中国联通使用 1755 ~ 1760MHz 和 1850 ~ 1860MHz 两个频段; 中国电信则使用 1765 ~ 1785MHz 和 1860 ~ 1875MHz 两个频段。这也可以解释, 为什么有的手机只能使用中国电信的 SIM 卡, 有的只能使用中国移动的 SIM 卡, 皆是频率使然。

1.3.3 组网对象

从参与组网的对象角度来讲, 无线传感器网络参与组网的主要对象是大量的微型传感器。传统的移动通信网络参与组网的主要是各种型号的手机。车辆之间可以成车联网 (Vehicle Area Network, VAN)。当然, 同一网络中也可以包含多种不同类型的对象、设备。比如, 同一 WiFi 网络中可以存在计算机、平板电脑、智能手机, 甚至空气净化器、电饭锅、净水器等智能家电设备。

1.3.4 是否需要基础设施支持

从组网过程是否需要基础设施支持来看，蜂窝网络就是典型的需要基础设施支持的无线网络，大量的智能手机或者其他移动设备，都依赖于蜂窝网络基站才能够正常接入网络，并进行数据传输。大多数情况下，WiFi 网络也是一种需要基础设施支持的无线网络，笔记本式计算机、智能手机等设备通过连接无线路由器，进而接入 Internet。而采用 ZigBee 技术的无线传感器网络则被设计成一种不依赖于基础设施的无线网络，大量的微型传感器通过自组织的方式实现互联、组网，并协作完成各类环境监测任务。

1.3.5 应用场景

无线网络的出现，大大方便了网络的接入，同时极大地提升了用户网络使用体验。虽然，无线网络的应用场景千差万别、多种多样，但万变不离其宗，即无线网络主要是为了在无法进行布线、布线困难、布线成本高等应用场景中取代有线网络而出现的。比如，有线网络显然难以支持移动通信需求，于是出现了蜂窝网络；又比如，正是在无线通信、网络等技术的支持下，卫星与地面接收设备之间的通信才能得以实现；再比如，现今家庭中，除了台式计算机、笔记本式计算机外，还有大量需要接入网络的设备——智能手机、平板电脑以及其他各类智能家电，如果全部采用有线方式连接网络，将对网络布线带来极大的挑战，也会对家居美观带来非常不利的影响，甚至很多设备可能根本就不具备有线网络接口，却往往内置了无线网卡，这样无线接入就成了唯一选择。

1.4 无线网络领域的标准化组织

任何技术的广泛应用都离不开技术标准化的支持，后续章节所介绍的各类无线网络技术都是由各类标准化组织提出并标准化的。这里简要介绍几个无线网络相关领域知名的标准化组织。

1.4.1 国际电信联盟

国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）是联合国的一个重要专门机构，也是联合国机构中历史最长的一个国际组织，其标志如图 1-13 所示。ITU 主管信息通信技术事务，负责分配和管理全球无线电频谱与卫星轨道资源，制定全球电信标准，向发展中国家提供电信援助，促进全球电信发展。其成员包括 193 个成员国和 700 多个部门成员及部门准成员和学术成员。

ITU 的历史可以追溯到 1865 年。为了顺利实现国际电报通信，1865 年 5 月 17 日，法、德、俄、意、奥等 20 个欧洲国家的代表在巴黎签订了《国际电报公约》，国际电报联盟（International Telegraph Union, ITU）也宣告成立。随着电话与无线电的应用与发展，ITU 的职权不断扩大。1906 年，德、英、法、美、日等 27 个国家的代表在柏林签订了《国际无线电报



图 1-13 ITU 组织标志

公约》。1932 年，70 多个国家的代表在西班牙马德里召开会议，将《国际电报公约》与《国际无线电报公约》合并，制定《国际电信公约》，并决定自 1934 年 1 月 1 日起将国际电报联盟正式改称为“国际电信联盟”。经联合国同意，1947 年 10 月 15 日国际电信联盟成为联合国的一个专门机构，其总部也由瑞士的伯尔尼迁至日内瓦。

人们日常生活中使用的 GSM、CDMA、WCDMA 和 LTE 等各类移动通信技术都是经 ITU 批准并标准化的。

1.4.2 国际标准化组织

国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO），是国际标准化领域中一个十分重要的组织，成员包括 162 个国家。ISO 来源于希腊语“ISOS”，即“EQUAL”（平等）之意，其标志如图 1-14 所示。ISO 负责目前绝大部分领域（包括军工、石油、船舶等垄断行业）的标准化活动。ISO 的宗旨是“在世界上促进标准化及其相关活动的发展，以便于商品和服务的国际交换，在智力、科学、技术和经济领域开展合作”。

国际标准化组织的前身是国家标准化协会国际联合会和联合国标准协调委员会。1946 年 10 月，25 个国家标准化机构的代表在伦敦召开大会，决定成立新的国际标准化机构，定名为 ISO。大会起草了 ISO 的第一个章程和议事规则，并认可通过了该章程草案。1947 年 2 月 23 日，国际标准化组织正式成立。



图 1-14 ISO 组织标志

ISO 通过它的 2856 个技术机构开展技术活动，其中技术委员会（Technical Committee, TC）185 个，分技术委员会（Standards Committee, SC）611 个，工作组（Work Group, WG）2022 个，特别工作组 38 个。

1.4.3 国际电工委员会

国际电工委员会（International Electrical Commission, IEC）是世界上成立最早的国际性电工标准化机构，负责有关电气工程和电子工程领域的国际标准化工作。其宗旨是促进电工、电子和相关技术领域有关所有标准化问题（比如标准的合格评定）的国际合作，其标志如图 1-15 所示。目前 IEC 的工作领域已由单纯研究电气设备、电机的名词术语和功率等问题扩展到电子、电力、微电子及其应用，包括通信、视听、机器人、信息技术、新型医疗器械和核仪表等电工技术的各个方面。IEC 和前面介绍的 ITU、ISO 是目前国际三大标准化组织。

IEC 成立于 1906 年，至 2015 年已有 109 年的历史。在 1887—1900 年间召开的 6 次国际电工会议上，与会专家一致认为有必要建立一个永久性的国际电工标准化机构，以解决用电安全和电工产品标准化问题。1904 年在



图 1-15 IEC 组织标志

美国圣路易斯召开的国际电工会议上通过了关于建立永久性机构的决议。1906年6月,13个国家的代表集会伦敦,起草了IEC章程和议事规则,正式成立了国际电工委员会。1947年其作为一个电工部门并入ISO,1976年又从ISO中分立出来。

IEC现在有技术委员会(Technical Committee, TC) 97个,分技术委员会(Sub Committee, SC) 77个。在信息技术领域,IEC成立了联合技术委员会与ISO等其他国家标准化组织紧密合作,以避免出现不同组织制定的标准相互冲突的问题。上述联合技术委员会是ISO、IEC最大的技术委员会,其工作量几乎是ISO、IEC的三分之一,发布的国际标准也占三分之一,其制定的最有名的标准是开放系统互连(Open Systems Interconnection, OSI)标准,成为各计算机网络之间进行互联对接的权威技术,为信息技术的发展奠定了基础。

1.4.4 电气和电子工程师协会

电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)是一个国际性的电子技术与信息科学工程师协会,是目前全球最大的非营利性专业技术学会,其会员人数超过40万人,遍布160多个国家,其标志如图1-16所示。IEEE在国际计算机、电信、生物医学工程、电力及消费性电子产品等学术领域都具有权威性。在电气及电子工程、计算机及控制技术领域,IEEE发表的文献数量约占全球的三分之一。

IEEE的两个前身包括成立于1884年的美国电气工程师协会(American Institute of Electrical Engineer, AIEE),以及成立于1912年的无线电工程师协会(American Institute of Radio Engineer, IRE)。AIEE主要兴趣在有线通信(电报和电话)、照明和电力系统等领域;IRE



图1-16 IEEE组织标志

关心的则多是无线电工程,它由两个更小的组织组成,即无线和电报工程师协会和无线电协会。随着20世纪30年代电子学的兴起,电气工程大抵上也成了IRE的成员,同时电子管技术的应用变得如此广泛以至于IRE和AIEE领域边界变得越来越模糊。第二次世界大战以后,两个组织竞争日益加剧。1961年两个组织的领导人果断决定将二者合并,并于1963年1月1日合并成立IEEE。

作为全球最大的专业学术组织,IEEE在学术研究领域发挥重要作用的同时也非常重视标准的制定工作。IEEE专门设有IEEE标准协会(IEEE Standard Association, IEEE-SA)负责标准化工作。IEEE所制定的标准内容包括电气与电子设备、试验方法、元器件、符号、定义以及测试方法等多个领域。

人们熟悉的IEEE 802.11、802.16、802.20等系列标准,就是IEEE计算机专业学会下设的802委员会负责主持的。IEEE 802又称为局域网/城域网标准委员会,致力于研究局域网和城域网的物理层和MAC层规范。

1.5 本章小结

本章简要介绍了计算机网络发展历史和无线通信技术发展历史,两项技术的融合最终促成了无线网络技术的出现;随后,介绍了覆盖范围、通信频率、参与组网对象、是否需要基

基础设施支持及应用场景等无线网络分类依据和分类结果；最后，介绍了 ITU、ISO、IEC 和 IEEE 等无线网络相关领域的标准化组织。

习 题

1. 无线网络按照覆盖范围从大到小可划分为_____、_____、_____和_____。
2. 因为 ARPANET 中_____的出现，ARPANET 被认为是现代计算机网络诞生的标志。
3. _____使得原本孤立的、相互不兼容的各局域网能够按照统一的标准实现互联互通。
4. 判断一下，大蜂窝、宏蜂窝、微蜂窝和微微蜂窝等结构在同一网络中无法共存，这句话是否正确。
5. 802.11 标准是_____提出的无线网络标准。